

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ БЕЗОБЖИГОВЫХ ВЫСОКОКРЕМНЕЗЕМИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Н.С. Захарова

Научный руководитель – к.т.н., доцент Н.Н. Клименко

*Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева  
125047, Россия, г. Москва, пл. Миусская 9, klimenko.muctr@gmail.com*

Одним из основных направлений развития современного строительного материаловедения является разработка новых видов эффективных и долговечных материалов с высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами. Долговечность материалов оценивают по степени изменения их структуры и свойств в результате длительного воздействия различных агрессивных факторов (механических, физических, химических, биологических и др.), имитирующих процесс эксплуатации [1]. Поэтому важнейшей задачей является не только достижение повышенных эксплуатационных свойств, но и сохранение уровня механической прочности, износостойкости, водостойкости, морозостойкости и коррозионной стойкости при продолжительном постоянном или циклическом воздействии агрессивных факторов.

Для традиционных строительных материалов изучены механизмы коррозии и способы их защиты от агрессивных воздействий. Разрабатываемые авторами безобжиговые высококремнеземистые материалы по структуре и способу производства отличаются от традиционных строительных материалов, поэтому требуются отдельные исследования для установления механизмов взаимодействия безобжиговых щелочеактивированных высококремнеземистых систем с различными агрессивными средами, в первую очередь биологическими и химическими. Практическая ценность таких исследований заключается в разработке новых эффективных методов и средств защиты безобжиговых материалов от коррозии в том числе еще на этапе разработки составов и технологии изготовления строительных материалов. Особенно актуальными являются исследования, направленные на разработку комплексного подхода к повышению коррозионной устойчивости, включающего реализацию различных методов воздействия на свойства и структуру материала еще на стадии разработки, т.е. в предэксплуатационный период.

Объектом исследования в данной работе

являются высококремнеземистые композиционные материалы безобжигового твердения на основе природного кварцевого сырья, промышленных отходов и щелочного связующего.

В ходе исследований синтезированы высококремнеземистые материалы (до 95 мас.%  $\text{SiO}_2$ ) на основе кварцевого песка (Раменский ГОК; ГОСТ 8736-93), гранулированного доменного шлака (ПАО «Тулачермет»; ГОСТ 3476-74) и жидкостекольного связующего (натриевое жидкое стекло ООО «Быт Сервис Аква»; ГОСТ 13078-81) с использованием энергоэффективной безобжиговой технологии и комплексной активации сырьевых смесей (механической, химической, термической). Состав сырьевых смесей изменяли в следующих пределах: кварцевый песок –  $48 \div 15$  мас.%; доменный шлак –  $30 \div 65$  мас.%; жидкое стекло –  $18 \div 22$  мас.%. Условия синтеза: совместный тонкодисперсный помол сырьевых компонентов, полусухое прессование образцов и последующая тепловлажностная обработка при  $95 \pm 5^\circ\text{C}$  в течение 5–6 часов. Достигнуты следующие значения эксплуатационных характеристик в зависимости от состава композитов: предел прочности при сжатии – 95–140 МПа; предел прочности при изгибе – 20–50 МПа; истираемость 0,09–0,15 г/см<sup>2</sup>; водостойкость (Кразмягчения) – 0,8–1; биостойкость (степень обрастаемости грибами – 0); морозостойкость – F100; химстойкость по отношению к разбавленным и концентрированным растворам неорганических кислот ( $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HCl}$ ) – не менее 95 %, химстойкость по отношению к разбавленным растворам щелочей ( $\text{NaOH}$ ) – не менее 98 %.

На основе результатов выполненных структурных и физико-химических исследований высококремнеземистых композиций проведен анализ и выявлены особенности их структурообразования, определяемые природой и реакционной способностью наполнителя (рядовой кварцевый песок, механоактивированный кварцевый песок, механоактивированная смесь доменного шлака и кварцевого песка) и заклю-

чающиеся в различной степени полимеризации гелевидных фаз разного химического состава (силикатных, кальцийсиликатных и кальций-алюмосиликатных), образующихся в результате взаимодействия наполнителей с щелочным активатором – натриевым жидким стеклом, а также в образовании волокнистых кристаллов, повышающих прочность контактов и степень уплотнения структуры материала.

Работы по изучению биологического сопротивления высококремнеземистых материалов ведутся совместно с исследовательской группой

кафедры биотехнологии РХТУ им. Д.И. Менделеева. Полученные в настоящее время результаты дают основание полагать, что использование устойчивых по отношению к биофакторам сырьевых компонентов, введение жидкого стекла в состав высококремнеземистых щелочеактивированных материалов, а также меры по повышению их плотности и непроницаемости благоприятно влияют на их биостойкость [2].

Работа выполнена при финансовой поддержке РХТУ им. Д.И. Менделеева. Номер проекта 027-2018.

### Список литературы

1. Zhang J. et al. *Durability of alkali-activated materials in aggressive environments: A review on recent studies // Construction and Building Materials*, 2017.– V.152.– P.598–613.
2. Михайленко Н.Ю. и др. *Высококремнеземистые композиционные материалы с повышенным сопротивлением биокоррозии // Материаловедение*, 2017.– №5.– С.43–47.

## ФОРМИРОВАНИЕ НАНОПРОВОДОВ ОКСИДА ЦИНКА НА ПОДЛОЖКАХ С РАЗВИТОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ДЛЯ ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СЛОЁВ

А.А. Иванова, А.А. Бобков

Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор В.А. Мошников

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет им. В.И. Ульянова 197376, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова 5, root@post.etu.spb.ru

В последнее время оксид цинка (ZnO) находит широкое применение в различных областях науки и техники. Особое внимание оксид цинка привлекает в создании газочувствительных сенсоров, где выступает в качестве чувствительного элемента. Основными преимуществами хеморезистивных газовых сенсоров на основе оксида цинка являются высокая чувствительность, биосовместимость и низкая стоимость [1].

Интерес к ZnO, как сенсорному материалу, обусловлен рядом его электрофизических свойств, таких как, высокая температура плавления и теплопроводность, большая энергия связи экситонов (60 МэВ), большая ширина запрещенной зоны (3,37 эВ), фоточувствительность, химическая стабильность, биологическая совместимость, пьезо- и пироэффект [2]. Большинство полупроводниковых газовых сенсоров работают при повышенных температурах, что делает их применение небезопасным и энергозатратным при использовании их в автономных системах. Поэтому, задача получения сенсорных элементов с высокой чувствительностью, работающих при комнатной температуре является

актуальной. В последнее время, для увеличения выходных характеристик проектируемых приборов на основе наноструктур ZnO, используют так называемые «развитые» подложки или подложки с высокой удельной поверхностью. Благодаря большой площади поверхности увеличивается число адсорбционных центров, а, следовательно, и чувствительность прибора.

В данной работе были получены нанопровода оксида цинка на подложках n-Si (100), с использованием трехстадийного гидротермального метода, состоящего из образования затравочных островков ZnO, роста нанопроводов оксида цинка в форме «цветка» и процессов вытравливания подложек Si. Предварительно подложки Si последовательно очищались в ацетоне, изопропиловом спирте и дистиллированной воде в течение 10 мин. каждый в ультразвуковой ванночке. После очистки Si пластин слой затравочных островков оксида цинка был получен путем нанесения на поверхность методом *spin-coating* (центрифугирование) 10 mM гексагидрата нитрата цинка ( $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) и 10 mM гексаметиленetetрамина (HMTA), растворенных